

**JP01161648**

Publication Title:

No title available

Abstract:

Abstract not available for JP01161648

Data supplied from the esp@cenet database - Worldwide

-----  
Courtesy of <http://v3.espacenet.com>

## ⑫ 公開特許公報(A) 平1-161648

⑪ Int. Cl.<sup>4</sup>

識別記号

庁内整理番号

⑬ 公開 平成1年(1989)6月26日

H 01 J 37/244  
37/20  
37/227013-5C  
D-7013-5C  
7013-5C

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑭ 発明の名称 走査電子顕微鏡の立体計測校正方法

⑮ 特 願 昭62-320761

⑯ 出 願 昭62(1987)12月18日

⑰ 発 明 者 本 間 弘 一 神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株式会社日立製作所システム開発研究所内

⑰ 発 明 者 加 藤 誠 神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株式会社日立製作所システム開発研究所内

⑰ 発 明 者 古 村 文 伸 神奈川県川崎市麻生区王禅寺1099番地 株式会社日立製作所システム開発研究所内

⑰ 発 明 者 古 屋 寿 宏 茨城県勝田市市毛882番地 株式会社日立製作所那珂工場内

⑰ 出 願 人 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台4丁目6番地

⑰ 代 理 人 弁理士 磯村 雅俊

## 明 細 書

## 1. 発明の名称

走査電子顕微鏡の立体計測校正方法

## 2. 特許請求の範囲

1. 複数の検出器から検出器毎の画像を入力する手段と、該画像上の各点に関する試料表面の傾きを、該画像の複数の濃淡値から計算する手段と、該傾きを積分して試料表面の立体形状を計算する手段を備えた走査電子顕微鏡の立体計測校正方法において、試料台と入射電子線とがなす角度を任意に変更する手段と、該角度を計測する手段と、試料台と入射電子線とがなす角度を変更する以前に入力した画像、試料台と入射電子線とがなす角度を変更した後に入力した画像、および該角度から上記試料表面の傾き計算手段を校正する手段とを備え、上記複数の検出器から入力した画像上の各点に関する試料表面の傾きを、該画像の複数の濃淡値から計算し、該傾きを積分して試料表面の立体形状を計算す

る場合、試料をセットした試料台と入射電子線とがなす角度を変更する以前に入力した画像、該試料台と入射電子線とがなす角度を変更した後に入力した画像、および該角度から上記試料表面の傾き計算手段を校正することを特徴とする走査電子顕微鏡の立体計測校正方法。

2. 上記校正手段には、試料台と入射電子線とがなす角度を変更する前後に入力した画像間で対応点の検出を行う手段、該角度と検出対応点の画像上での位置座標から該対応点における深さ情報あるいは高さ情報をステレオ処理で算出する手段、および、算出した傾きを積分して得た試料表面の立体形状と該ステレオ処理による代表点上での深さ情報を比較し、該比較結果が一致するように傾き計算式の係数を修正する手段を備え、上記複数の検出器により、試料をセットした試料台と入射電子線とがなす角度を変更する以前の画像、および該試料台と入射電子線とがなす角度を変更した後の画像を入力し、該角度変更以前に入力した画像上の各点の画像の

傾きを計算し、該傾きを積分して試料表面の高さを計算し、さらに該画像上の各点から、ステレオ処理を行うための代表点を選択し、該角度変更後に入力した画像における該代表点の対応点を検出し、該角度と該代表点および対応点の位置座標から深さ情報あるいは高さ情報をステレオ処理で算出し、積分して得た試料表面の立体形状とステレオ処理による該代表点上での深さ情報あるいは高さ情報を比較し、該比較結果が一致するように傾き計算式の係数を修正することを特徴とする特許請求範囲第1項記載の走査電子顕微鏡の立体計測校正方法。

3. 上記校正手段には、試料台と入射電子線とがなす角度を変更する前後に入力した画像から求めた試料表面の傾きを比較する手段、および、該傾きの差が実際の該角度と一致するように、傾き計算式の係数を修正する手段を備え、試料をセットした試料台と入射電子線とがなす角度を変更する以前に上記複数の検出器から入力した画像、および該試料台と入射電子線とがなす

角度を変更した後に入力した画像上の各点の画像の傾きを計算し、該角度変更前後に入力した画像から求めた試料表面の傾きを比較して、該傾きの差が実際の該角度と一致するように、傾き計算式の係数を修正することを特徴とする特許請求範囲第1項記載の走査電子顕微鏡の立体計測校正方法。

### 3. 発明の詳細な説明

#### 〔産業上の利用分野〕

本発明は、複数検出器法による走査電子顕微鏡の立体計測校正方法に関し、特に、校正用試料を用意することなく、試料台を傾けて同一試料を観察するだけで、計測処理を校正することが可能な走査電子顕微鏡の立体計測校正方法に関する。

#### 〔従来技術〕

従来、走査電子顕微鏡に複数の検出器を取付け、試料表面形状を計測する方法については、例えばメジャーメント オブ サーファス トポグラフィ ユージング エス・イー・エム ウィズ ツー セカンダリ エレクトロン ディテクターズ、

菅沼忠雄著、ジャーナル オブ エレクトロン マイクロスコピー、第34巻、第4号、第328頁～337頁、1987年(Tadao Suganuma, Measurement of Surface Topography Using SEM with Two Secondary Electron Detectors, J. of Electron Microscopy, Vol. 34, No. 4, pp. 328～337, 1985)において論じられている。

この方法では、走査電子顕微鏡に2個の検出器を設け、その2個の画像信号値の2乗の差を求め、検出器を結ぶ方向の画像の傾き、つまり、検出器を結ぶ方向の微分値を求めて、その値を端から加算積分することにより、該当ライン上の断面形状を求めている。

また、具体的な試料表面の傾き計算式は、

$$(1) \tan \theta = k(A^2 - B^2) / (A_n + B_n)^2$$

と表わされる。但し、A、Bは検出器の信号、 $\theta$ は傾き角である。

この場合、分母の式は入射電子ビーム強度の変化をキャンセルさせるためのものであり、 $A_n$ 、

$B_n$ は試料の平坦部を撮像したときの左右検出器の信号強度である。また、kは比例係数であり、その値は実験的に求められている。すなわち、直径7 $\mu$ mのラテックスの球を平板上に置き、金でコーティングして校正用試料とする。一般に球の各点の面の傾きの真値は球の像上の相対位置から計算できることを利用して、校正用試料像から(1)式により計算した傾きと理論的に求めた傾きを比較することにより校正を行っている。

しかし、この方法では加速電圧、ワーキングディスタンス(対物レンズと試料との距離)、2次電子引込み電圧の変化等により、(1)式の係数に影響がある場合には校正のため、その都度校正用試料を準備して撮像する必要があった。

#### 〔発明が解決しようとする問題点〕

上記従来技術では、電子ビーム加速電圧の変化、ワーキングディスタンスの変化、2次電子引込み電圧の変化等により、試料表面の傾き計算式に影響がある場合には、校正のため、その都度準備した校正用試料を撮像し、校正処理を実行する必要

があった。

また、較正用試料の撮像条件と実際に立体計測したい試料の撮像条件が完全に一致しない場合には、立体計測精度の低下が生じるという問題があった。

本発明の目的は、このような問題点を改善し、多検出器による走査電子顕微鏡の立体計測システムの較正を、特別な較正用試料を用いることなく、計測対象試料自身を用いて行うことが可能な走査電子顕微鏡の立体計測較正方法を提供することにある。

〔問題を解決するための手段〕

上記目的を達成するため、本発明の走査電子顕微鏡の立体計測較正方法は、複数の検出器から検出器毎の画像を入力する手段(左右の検出器)と、その画像上の各点に関する試料表面の傾きを、その画像の複数の濃淡値から計算する手段と、その傾きを積分して試料表面の立体形状を計算する手段を備えた走査電子顕微鏡の立体計測較正方法において、試料台と入射電子線とがなす角度を任意

に変更する手段(試料台傾斜機構)と、その角度を計測する手段(角度検出器)と、試料台と入射電子線とがなす角度を変更する以前に入力した画像、試料台と入射電子線とがなす角度を変更した後に入力した画像、およびその角度から上記試料表面の傾き計算手段を較正する手段とを備え、その角度と角度変更以前に入力した画像、および角度変更後に入力した画像を用い、いくつかの点で両画像の相対位置ずれから、ステレオ処理によって絶対深さを求め、それらの深さと多検出器方による立体計結果とを比較するか、あるいは、試料台と入射電子線とがなす角度を変更する前後に入力した画像のそれぞれで多検出器法により算出した傾きの差と、実際に試料台と入射電子線とがなす角度から、傾き計算の較正を行うことにより、特別な較正用試料を用いることなく、角度を変更して同一試料を撮像することの特徴がある。

〔作用〕

本発明においては、試料表面の傾き計算式の係数を修正する場合、同一試料を用い、試料台傾斜

機構により試料台を傾ける前後に入力した画像と試料台傾斜角度から、傾き計算を較正する。

一般に、画像上の画素位置 $(i, j)$ における左右の検出器の信号を $A(i, j)$ および $B(i, j)$ とすると、(1)式以外のものも含め、傾き計算式は、

$$(2) T'(i, j) = f(A(i, j), B(i, j))$$

と表わされる。但し、この計算式は走査電子顕微鏡の観測条件によって変化し、誤差を有する。

このため、真の傾きを、

$$(3) T(i, j) = a f(A(i, j), B(i, j)) + b$$

という式で近似すると、較正処理により求める値は(3)式における $a, b$ である。

このため、本発明においては試料台を傾斜させ、ステレオマッチング処理によって絶対高さを画像上代表点で求め、(3)式の積分結果と比較して(2)式の較正を行う。

次に、この方法の原理について述べる。

試料表面の高さ情報は、

$$(4) H(i, j) = H_0 + a \sum_{m=1}^{i-1} f(A(m, j), B(m, j)) + b(i-1)$$

と表わされる。但し、試料左辺は高さ $H_0$ の平坦形状である。

また、代表点座標 $(i_e, j_e)$ 、 $e = 1, \dots, N$ で、試料台傾きにより与えられる絶対高さ $H^e(i_e, j_e)$ と(4)式から、最小2乗法により未知数 $a, b, H_0$ が定まる。

具体的には正規方程式の解により、

$$(5) P = \begin{bmatrix} \sum_{m=1}^{i_1-1} f(A(m, j_1), B(m, j_1)) & & \\ & \ddots & \\ & & \sum_{m=1}^{i_N-1} f(A(m, j_N), B(m, j_N)) \end{bmatrix}$$

$$Q = \begin{bmatrix} H^e(i_1, j_1) \\ \vdots \\ H^e(i_N, j_N) \end{bmatrix}$$

として、

$$(6) \begin{bmatrix} a \\ b \\ H_0 \end{bmatrix} = [P^T P]^{-1} P^T Q$$

で与えられる。

また、本発明においては試料台傾斜前後の画像から求めた傾き角の比較により校正を行う。

この方法の原理について述べる。

試料台回転前の画像上(i, j)座標での試料表面傾き角を $\theta(i, j)$ 、左右信号強度を $A^0(i, j)$ 、 $B^0(i, j)$ とし、試料台を角度 $\delta$ 回転した後の左右信号強度を $A^1(i, j)$ 、 $B^1(i, j)$ とすると、(3)式より、

$$(7) \tan \theta(i, j) = a f(A^0(i, j), B^0(i, j)) + b$$

$$\tan(\theta(i, j) + \delta) = a f(A^1(i, j), B^1(i, j)) + b$$

という式が成り立つ。この場合、試料台傾斜前後の画像から求めた傾き角 $f(A^0(i, j), B^0(i, j))$ 、 $f(A^1(i, j), B^1(i, j))$

24、および、角度検出器25を含む試料台傾斜機構を備える。

この試料台傾斜機構は、第5図のように試料台14を傾けるためのツマミ26、および角度検出器25を有し、オペレータがツマミ26の回転すると、その回転はギヤによって試料台14に伝わり、試料台14を任意の角度に傾ける。また角度検出器25はその回転角度を検出して電気信号に変換し、計算機21に送る。なお、ツマミ26の軸上のギヤの径は、試料台14の軸上のギヤの径よりも小さいため、試料台14の傾きを高精度で設定することができる。

また、計算機21では、左右の検出器18, 19から入力された画像上の各点に関する試料表面の傾きを濃淡値から求め、その傾きを積分して試料表面の立体形状を計算する。さらに本実施例では、試料台14を傾けずに入力した画像と、試料台傾斜機構により試料台14を傾けて入力した画像と、試料台14の傾斜角度から、試料表面の傾き計算を校正する。

の画像座標(i, j)に関する平均値を $\bar{f}^0$ 、 $\bar{f}^1$ で表わし、試料表面の傾き角の平均値を $\theta^0$ と表わすと、

$$(8) \tan \theta^0 = a \bar{f}^0 + b$$

$$(9) \tan(\theta^0 + \delta) = a \bar{f}^1 + b$$

であるから、 $\theta^0$ および $\delta$ が0に近いとすると、

$$(10) a = \delta / (\bar{f}^1 - \bar{f}^0)$$

が求められる。なお、この方式では係数bは求めることができないが、係数aのみでも有効に傾き計算を校正することができる。

〔実施例〕

以下、本発明の一実施例を図面により説明する。

第3図は、本発明の一実施例における走査電子顕微鏡システムの構成図、第5図は本発明の一実施例における試料台傾斜機構の構成図である。

本実施例の走査電子顕微鏡システムは、第3図のように電子銃11、電子レンズ系13、試料台14、試料15、右方検出器18、左方検出器19、A/D変換器(A/D)20、計算機21、ディスク装置22、画像表示装置23、トラックボール

このような構成により、電子銃11から放出された電子線12は電子レンズ系13により収束偏向させられて、試料台14上の試料15上に入射する。これに対応して、試料15より2次電子17が放出され、右方検出器18および左方検出器19により検出される。

本実施例では、まず試料台14を傾けずに電子線12を対象試料に入射する。これにより、左右の検出器18, 19からの画像信号はA/D変換器20によりA/D変換され、計算機21を通して一旦、ディスク装置22に格納される。

次に、試料台傾斜機構により試料台14を傾斜させて再度、前回撮像したものと同一試料15を撮像し、ディスク装置22に格納する。

これらの画像と試料台傾斜角度から、計算機21は試料表面の傾きを求める。

次に、具体的な傾き計算および校正方法について述べる。

第1図は、本発明の一実施例の走査電子顕微鏡システムにおけるステレオ処理による立体計測較

正の処理フローチャートである。

本実施例では、計算機21の較正手段における試料台14を傾ける前後に入力した画像間で対応点を検出する手段、試料台傾斜角度と検出対応点の画像上での位置座標から、その対応点の高さ情報をステレオ処理で算出する手段、および、積分により得た試料表面の立体形状とステレオ処理による代表点での高さ情報との比較結果が一致するように傾き算出式の係数を修正する手段により、試料表面の傾きを求める。

このステレオ処理により較正処理を行う場合、まず、試料台傾きを0として左右検出器画像を入力する(101)。

次に、試料台傾きを $\delta$ とした後の左右検出器画像を入力する(102)。

次に、試料台傾き0の左右検出器画像 $A^0(i, j)$ ,  $B^0(i, j)$ をディスク装置22から読み出し、画像各点の画素の傾きを計算する(103)。

この場合、本実施例では次の式を用いる。

$$(11) T'(i, j) = (A(i, j) - B(i, j))$$

るように、試料台傾斜画像上の対応点 $(i_e', j_e')$ を選ぶ演算を行う。

なお、その式(12)は、

$$(12) J = \sum (A^2(i_e' + s, j_e' + t) - A^0(i_e + s, j_e + t))^2$$

である。

こうして代表点を選ばれると(108)、代表点 $(i_e, j_e)$ とその対応点 $(i_e', j_e')$ の*i*座標方向のずれから、三角測量原理に基づく高さ計算処理を行う(109)。

なお、試料台傾斜の三角測量原理については、第4図のように、座標*L*に高さ*H*の点 $P_1$ があると仮定すると、 $\delta$ の回転により点 $P_1$ の*i*座標は $(L \cos \delta - H \sin \delta)$ に変化する。さらに高さ0の点は、試料台回転前後の画像に関する視差を0とするため、回転後の*i*座標を $1 / \cos \delta$ 倍する。その結果、回転後の点 $P_1'$ の*i*座標は $(L - H \tan \delta)$ と変換され、回転前の点 $P_1$ の*i*座標*L*との差は $-H \tan \delta$ となる。従って、ステップ109の処理では、 $H^e(i_e, j_e)$ を*e*番目の代表点の高

$$/(A(i, j) + B(i, j))$$

次に、初期値 $H^0 = 0$ 、ゲイン係数 $a = 1$ 、オフセット係数 $= 0$ として、(4)式により積分処理を行う(104)。なお、積分結果 $H(i, j)$ は試料表面の高さを示す。

次に、その値を輝度に変換して画像表示装置23に表示し、同時に、試料台傾斜を行う以前の検出器入力画像も表示する(105)。

次に、オペレータは表示された画像を見ながら、ステレオ処理により絶対高さを求める際の代表点を選ぶ(106)。

すなわち、試料表面の高い部分を代表する点と低い部分を代表する点であり、かつ試料台傾斜前後の画像対上で対応関係が検出し易く、濃淡変化が大きい点を選ぶ。具体的には、表示された試料台傾斜0の画像上でトラックボール24により代表点を数個選ぶ。なお、*N*個の代表点の座標を $(i_e, j_e)$ ,  $e = 1, \dots, N$ と表わす。

次に、ステレオマッチング処理を行う(107)。

この処理では、次に示す(12)式が最小とな

さとして、次に示す(13)式を計算する。

$$(13) H^e(i_e, j_e) = (i_e - i_e') / \cos \delta / \tan \delta$$

最後に、(6)式の演算により、係数*a*、*b*および積分定数*H*を求める(110)。

第2図は、本発明の一実施例における本発明の一実施例の走査電子顕微鏡システムにおける傾きの変化比較による立体計測較正の処理フローチャートである。

また本実施例では、計算機21の較正手段における試料台14を傾ける前後に入力した画像から求めた試料面の傾きを比較する手段、および、その傾きの差が実際の試料台傾斜角度と一致するように、傾き計算式の係数を修正する手段により、試料表面の傾きを求める。

この傾きの変化比較に基づく較正処理を行う場合、試料台の傾きを0として左右検出器画像を入力し(201)、(11)式により、傾き $T'(i, j)$ を求める(202)。

次に、試料台を $\delta$ 回転して左右検出器画像を入力し(203)、同様に(11)式により、傾き $T_1'$

( $i, j$ )を求める(204)。

次に、画像座標( $i, j$ )に関する傾きの頻度分布を試料台傾斜前後それぞれの画像について求める(205)。

次に、こうして求めた頻度分布の最頻値 $f^0$ 、 $f^1$ を求め(206)、(11)式のゲイン補正係数 $a$ を(10)式により計算する(207)。

なお、本実施例では試料台自体を傾斜することにより、試料台と入射電子線とがなす角度を変更しているが、例えば特開昭61-61002号公報に記載されている装置のように、電子線を斜めに入射して走査することによっても、同様の較正を行うことができる。

〔発明の効果〕

本発明によれば、走査電子顕微鏡に複数の検出器を取付け、微細な立体形状を計測するシステムにおいて、試料台を傾斜させて同一試料の撮像を行うことにより、電子ビーム加速電圧の変化、ワーキングディスタンスの変化、および2次電子引込み電圧の変化等によって、試料表面傾き計算式

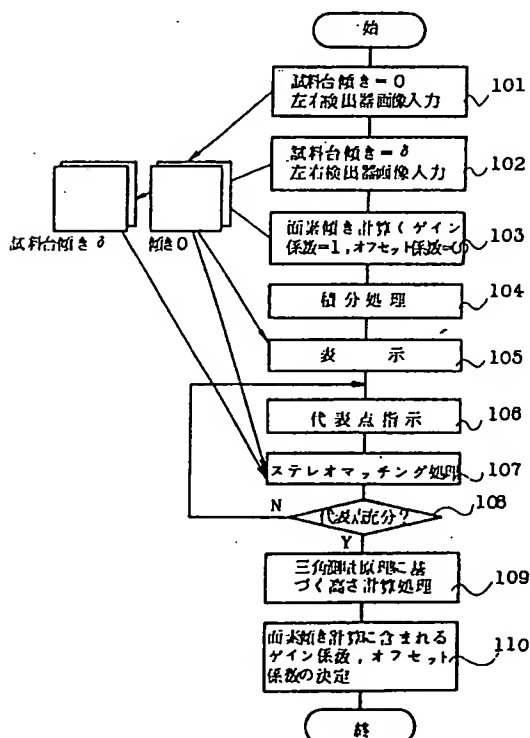
に影響がある場合でも、特別な較正用試料を用いることなく、計測対象試料自身を用いて立体計測処理の較正を行うことができる。

#### 4. 図面の簡単な説明

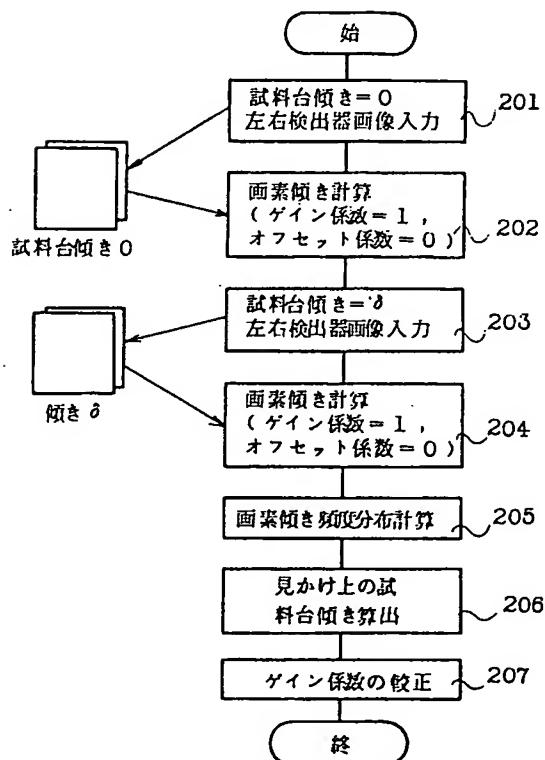
第1図は本発明の一実施例の走査電子顕微鏡システムにおけるステレオ処理による立体計測較正の処理フローチャート、第2図は本発明の一実施例の走査電子顕微鏡システムにおける傾きの変化比較による立体計測較正の処理フローチャート、第3図は本発明の一実施例における走査電子顕微鏡システムの構成図、第4図は本発明の一実施例における試料台傾斜の三角測量原理の説明図、第5図は本発明の一実施例における試料台傾斜機構の構成図である。

11：電子銃、12：電子線、13：電子レンズ系、14：試料台、15：試料、17：2次電子、18：右方検出器、19：左方検出器、20：A/D変換器(A/D)、21：計算機、22：ディスク装置、23：画像表示装置、24：トラックボール、25：角度検出器、26：ツマミ。

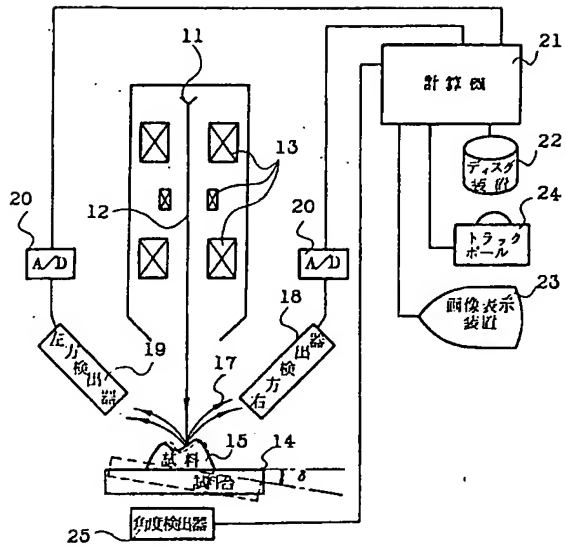
第 1 図



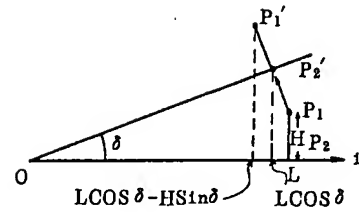
第 2 図



第 3 図



第 4 図



第 5 図

